

## Micro-mixer for production of ethyl-oxide

**Publication number:** DE19748481 (A1)

**Publication date:** 1999-05-12

**Inventor(s):** EHRENFELD WOLFGANG PROF DR [DE]; GEBAUER KLAUS [DE]; GOLBIG KLAUS DR [DE]; RICHTER THOMAS DR [DE]; SCHOLL THOMAS [DE] +

**Applicant(s):** INST MIKROTECHNIK MAINZ GMBH [DE] +

**Classification:**

**- international:** B01F13/00; B01F5/06; B01J19/00; B01F13/00; B01F5/06; B01J19/00; (IPC1-7): B01F5/02; B01F5/06

**- European:** B01F13/00M2B; B01F13/00M2C; B01F5/06B2B; B01F5/06B3C4; B01J19/00R

**Application number:** DE19971048481 19971103

**Priority number(s):** DE19971048481 19971103

**Also published as:**

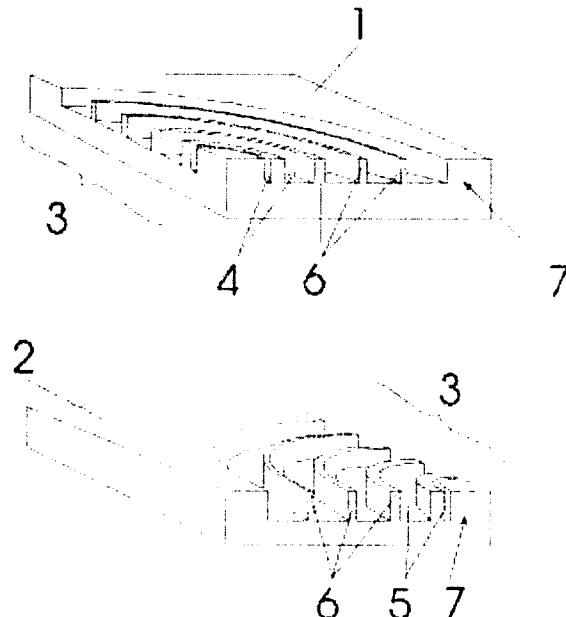
DE19748481 (C2)

**Cited documents:**

DE19540292 (C2)

### Abstract of DE 19748481 (A1)

A static micro-mixer has a mixing chamber receiving two fluid components, each of which is fed to the chamber by a discrete system of bow-shaped grooves (4, 5) within a foil (1, 2) surface. The overlapping grooves form a mass of overlapping intersections at which the fluids mix. The bow-shaped grooves are of different length, and are separated from each other by crosspieces (6) of varying thickness. The crosspieces between the longer grooves are thinner than those between the shorter grooves.



Data supplied from the **espacenet** database — Worldwide



⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑯ **Patentschrift**  
⑯ **DE 197 48 481 C 2**

⑯ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**B 01 F 5/06**  
B 01 F 5/02

**DE 197 48 481 C 2**

⑯ Aktenzeichen: 197 48 481.6-23  
⑯ Anmeldetag: 3. 11. 1997  
⑯ Offenlegungstag: 12. 5. 1999  
⑯ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 25. 9. 2003

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑯ Patentinhaber:

Institut für Mikrotechnik Mainz GmbH, 55129 Mainz,  
DE

⑯ Vertreter:

Fuchs, Mehler, Weiss & Fritzsche, 65201 Wiesbaden

⑯ Erfinder:

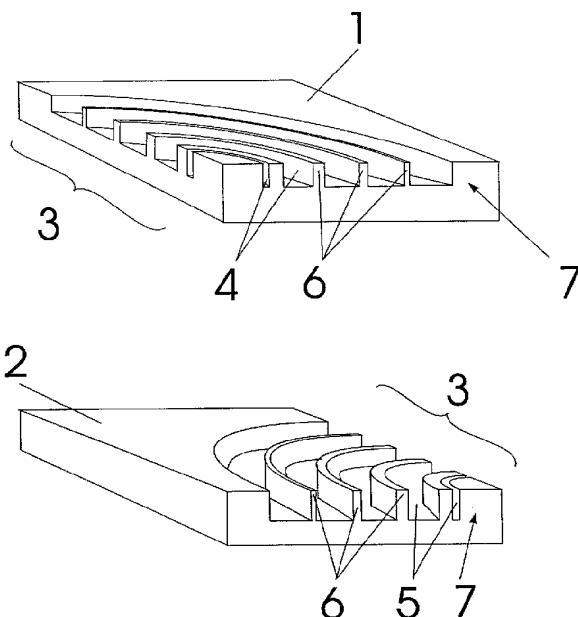
Ehrfeld, Wolfgang, Prof. Dr., 55124 Mainz, DE;  
Gebauer, Klaus, 65185 Wiesbaden, DE; Golbig,  
Klaus, Dr., 55270 Zornheim, DE; Richter, Thomas,  
Dr., 55118 Mainz, DE; Scholl, Thomas, 55130 Mainz,  
DE

⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE	1 95 40 292 C1
DE	39 26 466 A1
EP	06 24 558 A1
WO	95/30 476 A1

⑯ Statischer Mikrovermischer

⑯ Statischer Mikrovermischer (11) mit einer Mischkammer (12) und einem vorgeschalteten Führungsbauteil (13) für die getrennte Zufuhr von zu mischenden oder zu dispergierenden Fluiden zu der Mischkammer (12), wobei  
a) das Führungsbauteil (13) aus mehreren plattenartigen, übereinander geschichteten Elementen (1, 2) mindestens zweier Arten A und B zusammengesetzt ist, wobei die Elemente der Art A und die Elemente der Art B Kanäle aufweisen, die von einer Zufuhrkammer (14) eines Fluids A' bzw. von einer Zufuhrkammer (15) eines Fluids B' zu einer den plattenartigen Elementen (1, 2) gemeinsamen, an die Mischkammer (12) grenzenden Stirnfläche (7) führen,  
b) die plattenartigen Elemente (1, 2) der Art A und B aus dünnen Folien mit einer Dicke bis zu einigen Millimetern und Längen und Breiten bis zu einigen Zentimetern bestehen, in die eine Schar (3) benachbarter Nuten (4, 5) mit mindestens einem bogenförmig gekrümmten Abschnitt eingearbeitet sind so dass beim Übereinanderschichten der Folien je eine Schar (3) von Kanälen für die Führung der zu mischenden Fluide A' und B' entsteht, dadurch gekennzeichnet,  
dass die plattenartigen Elemente (1, 2) mindestens einer Art A bzw. B jeweils eine Schar (3) von Nuten (4, 5) unterschiedlicher Länge aufweisen, und  
dass die Wanddicken der Stege (6) zwischen den Nuten (4, 5) jedes plattenartigen Elementes (1, 2) der Art A bzw. B so bemessen sind, dass zumindest im Bereich der an die Mischkammer (12) grenzenden Stirnfläche (7) des plattenartigen Elementes (1, 2) die längeren Nuten (4, 5) einen kleineren Abstand zueinander aufweisen als die kürzeren Nuten (4, 5).



**DE 197 48 481 C 2**

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen statischen Mikrovermischer mit einer Mischkammer und einem vorgeschalteten Führungsbauteil für die getrennte Zufuhr von zu mischenden oder zu dispergierenden Fluiden zu der Mischkammer gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Aus der WO 95/30476 A1 ist ein statischer Mikrovermischer bekannt, der eine Mischkammer und ein Führungsbauteil für die getrennte Zufuhr der zu mischenden Stoffe vorsieht. Das Führungsbauteil besteht aus dünnen Folien mit jeweils einer Schar paralleler, geradliniger Nuten, die als plattenartige Elemente übereinandergeschichtet sind. Die Nuten der übereinanderliegenden Folien weisen eine zur Mikro-Vermischer-Längsachse abwechselnde Schräge auf, so dass die an die Mischkammer angrenzenden Öffnungen der Kanäle fluchtend übereinander liegen und an der Fluideintrittseite hin zu getrennten Eintrittskammern divergieren. Die Kanäle des Führungsbauteils weisen jeweils die gleiche Länge und damit den gleichen Strömungswiderstand auf. Da die Fluide zu unterschiedlichen Seiten gerichtet in die Mischkammer einströmen, ist die Mischungseffektivität an den Randzonen der Mischkammer geringer als im Zentrum.

[0003] Zur Erhöhung der örtlichen Effektivität der Vermischung wird in der DE 195 40 292 C1 vorgeschlagen, dass die jeweiligen Scharen von Nuten in den übereinandergeschichteten Folien jeweils bogenförmig gekrümmt und abwechselnd von der Mischkammer zu je einer der beiden Zufuhrkammern verlaufen, so dass alle Nuten parallel zueinander ausgerichtet in die Mischkammer münden. Zur Erzielung gleicher Strömungswiderstände wird angegeben, die Seiten des Führungsbauteils, die an die Zufuhrkammern grenzen, gegenüber der an die Mischkammer grenzende Seite so zu neigen, dass die Kanäle eine annähernd gleiche Länge aufweisen. Zur Vermeidung gekrümmter Eintrittsflächen wird angegeben, die Flächen entsprechend einer nach einer angegebenen Formel zu bestimmenden Näherungsgeraden auszurichten. Dies erlaubt jedoch nur kleine Bogenwinkel der Nuten, so daß eine Anordnung der Zufuhrkammern an zwei sich gegenüberliegenden Seiten des Führungsbauteils oder eine getrennte Zufuhr von mehr als zwei Fluiden kaum realisierbar ist.

[0004] Aus der DE 39 26 466 A1 ist ein Mikroreaktor zur Durchführung chemischer Reaktionen mit starker Wärmetönung bekannt, in dem Stoff-, Reaktions- und Wärmeführung in übereinandergeschichteten, plattenartigen Elementen stattfindet, die durch ein System aus durch Zerspanung hergestellten Rillen durchzogen und verbunden sind. Von Vorteil ist die extreme Wärmeabfuhrleistung, so daß die reagierenden Substanzen (Edukte) in hohen Konzentrationen gemischt und zur Reaktion gebracht werden können. Der Mikroreaktor selbst kann aus einem Katalysatormaterial gefertigt sein. Bei diesem Stand der Technik sind unterschiedlichen Längen der Rillen zwischen den jeweiligen Eintrittsöffnungen und der Mischzone vorhanden. Hierdurch weist der Mikroreaktor von der Länge der Rillen abhängige Strömungswiderstände auf, so daß unterschiedliche Volumenströme zur Mischung kommen, was eine über den Bereich der Mischzone inhomogene Mischung zur Folge hat. Unerwünschte Folge- und Nebenreaktionen können somit stattfinden. Ein weiterer entscheidender Nachteil der Erfindung, insbesondere wenn der Mikroreaktor aus einem Katalysatormaterial besteht, ist, daß die Reaktion schon mit der Vermischung der Stoffströme einsetzt. Dadurch ist es nicht möglich, Edukte in gezielten Mischungsverhältnissen zur Reaktion zu bringen und Folge- und Nebenreaktionen zu vermeiden.

[0005] Weiterhin wird in der WO 95/30476 A1 ein Verfahren zur Durchführung chemischer Reaktionen vorgestellt. Dadurch, daß die Edukte in Fluidfäden aufgeteilt werden, gelangen die Edukte eng benachbart als Freistrahlen in einen Raum, der als Misch- und Reaktionsraum dient, wo sie durch Diffusion und Turbulenz vermischen und zur Reaktion kommen. Der Vorteil hierbei ist, daß durch die Aufteilung in Fluidfäden die Edukte schnell homogen vermisch werden, wodurch eine folge- und nebenproduktfreie Reaktion stattfindet. Eine Durchführung heterogen katalysierter Gasphasenreaktionen ist nach diesem Verfahren nicht möglich.

[0006] Ausgehend vom oben genannten Stand der Technik hat die Erfindung zur Aufgabe, bei einem statischen Mikrovermischer beliebige Bogenwinkel der Nuten und damit beliebige Anordnungen der Zufuhrkammern und eine getrennte Zufuhr von mehr als zwei Fluiden realisieren zu können, bei einer über die gesamte Fläche des an die Mischkammer grenzenden Führungsbauteils gleich hohen Mischungseffektivität.

[0007] Die Aufgabe wird mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst, wobei die abhängigen Ansprüche vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung beschreiben.

[0008] Trotz der Verwendung gekrümmter Nuten unterschiedlicher Länge ist es mit dem erfindungsgemäßen Führungsbauteil möglich, die an die Mischkammer grenzende Stirnfläche des Elementes A bzw. B so in gleich große Teilflächen zu unterteilen, dass aus jeder Teilfläche pro Zeiteinheit im wesentlichen das gleiche Fluidvolumen in die Mischkammer austritt, womit eine über die gesamte Stirnfläche gleich hohe Mischungseffektivität erreicht wird. Gemäß einer Ausführungsform wird dies durch Nuten gleichen Querschnitts erreicht, wobei die längeren Nuten kürzere Abstände zueinander aufweisen als die kürzeren Nuten.

[0009] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform sind die Querschnitte der Nuten des Führungsbauteils so bemessen, dass aus jedem von den Nuten einer Elementart gebildeten Kanal pro Zeiteinheit das gleiche Fluidvolumen aus dem Führungsbauteil in die Mischkammer austritt. Dies bedeutet, dass die längeren Nuten einen größeren Querschnitt aufweisen als die kürzeren Nuten. Hierbei sind die sich von den kürzeren zu den längeren Nuten hin verkleinernden Wanddicken der Zwischenstege so zu bemessen, dass die Mitten der Nuten einen gleichen Abstand aufweisen.

[0010] Vorteilhaft ist die hohe Freiheit der Anordnung der Zufuhrkammern. So können bei Bogenwinkeln der Nuten von 90° die Zufuhrkammern auf zwei sich gegenüberliegenden Seiten des Führungsbauteils angeordnet werden. Damit wird es auch möglich, eine weitere Zufuhrkammer für die getrennte Zufuhr eines dritten Fluids vorzusehen. Der erfindungsgemäße Mikrovermischer lässt sich vorteilhaft in der Mikroreaktionstechnologie zur Zuführung und Vermischung hochreaktiver Fluide einsetzen. Darüberhinaus kann dieser Mikrovermischer auch als zünddurchschlagsicheres Bauteil dienen.

[0011] Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Mikrovermischers werden anhand der folgenden schematischen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

[0012] Fig. 1 zwei plattenartige Elemente der Art A und B mit Nuten gleichen Querschnitts in perspektivischer Darstellung,

[0013] Fig. 2 zwei plattenartige Elemente der Art A und B mit Nuten unterschiedlichen Querschnitts in perspektivischer Darstellung,

[0014] Fig. 3 einen Mikrovermischer mit zwei Zufuhrkammern für die Fluide A' und B' in Draufsicht,

[0015] Fig. 4 drei plattenartige Elemente der Art A, B und C in perspektivischer Darstellung,

[0016] **Fig. 5** einen Mikrovermischer mit drei Zufuhrkammern für die Fluide A', B' und C' in Draufsicht, [0017] **Fig. 6** ein Führungsbau teil für drei Fluide A', B' und C' in Draufsicht mit angedeutetem Verlauf der Kanäle, [0018] **Fig. 7** einen Mikrovermischer für zwei Fluide A' und B' mit einem in das Führungsbau teil integrierten Wärmetauscher in Draufsicht.

[0019] Gemäß **Fig. 1** weisen die plattenartigen Elemente **1**, **2** und **3** eine Schar von Nuten **4**, **5** auf. Die in **Fig. 1** nach vorne zeigende Stirnfläche **7** grenzt in dem Mikrovermischer an die Mischkammer an, während die Nuten **4** des plattenartigen Elementes **1** der Art A und die Nuten **5** des plattenartigen Elementes **2** der Art B gekrümmt in Richtung entgegengesetzt liegender Zufuhrkammern verlaufen. Die plattenartigen Elemente **1**, **2** bestehen aus Folien mit Dicken bis zu einigen Millimetern, vorzugsweise < 1 mm, besonders bevorzugt < 500 µm. Dadurch, dass die plattenartigen Elemente **1**, **2** die einen gleichen Grundriß haben, abwechselnd übereinander gestapelt und oben mit einer Deckplatte versehen werden, sind die Nuten jedes Elementes nach oben abgeschlossen, wodurch in Viertelkreisbögen verlaufende Kanäle gebildet werden. In **Fig. 1** weisen die Nuten **4**, **5** jedes Elementes **1**, **2** einen gleichen Querschnitt auf, während die Wanddicken der Zwischenstege **6** von den kürzeren Nuten mit einem kleinen Krümmungsradius hin zu den längeren Nuten mit einem größeren Krümmungsradius abnehmen. Dies ermöglicht, daß die Stirnfläche **7** jedes Elementes **1**, **2** so in gleich große Teilflächen unterteilt werden kann, daß trotz des größeren Strömungswiderstandes der längeren Kanäle pro Zeiteinheit aus jeder gedachten Teilfläche das gleiche Fluidvolumen in die Mischkammer austreten kann. [0020] In **Fig. 2** sind zwei plattenartige Elemente **1**, **2** der Art A und B dargestellt, wobei jedes Element eine Schar **3** von Nuten **4**, **5** aufweist. Die längeren Nuten, d. h. die Nuten mit einem größeren Krümmungsradius, weisen einen größeren Querschnitt auf als die kürzeren Nuten, d. h. als die Nuten mit einem kleineren Krümmungsradius. Die Dicken der Zwischenstege **6** sind so bemessen, daß die Mitten der Querschnittsflächen der Nuten jedes Elementes einen gleichen Abstand aufweisen. Damit verringern sich die Dicken der Zwischenstege **6** von den kürzeren Nuten hin zu den längeren Nuten und beim Übereinanderschichten der plattenartigen Elemente liegen die Nuten der Elementart A und die Mitten der Nuten der Elementart B genau übereinander. Die Querschnitte der Nuten sind so bemessen, daß trotz der unterschiedlichen Längen der Kanäle pro Zeiteinheit aus jedem Kanal eines Elementes das gleiche Fluidvolumen in die Mischkammer austritt. Damit kann über die gesamte Stirnfläche **7** für jedes Fluid A' und B' ein gleichmäßig hoher Fluidstrom und damit eine gleichmäßig hohe Mischungseffektivität erzielt werden.

[0021] Ein statischer Mikrovermischer **11** mit einem Führungsbau teil **13**, das aus den in **Fig. 2** dargestellten, übereinander geschichteten, plattenartigen Elementen **1**, **2** besteht, ist in **Fig. 3** schematisch gezeigt. Der Mikrovermischer **11** umfaßt Ausnehmungen für die Zufuhrkammern **14**, **15**, für das Führungsbau teil **13** und für die Mischkammer **12**. Die von der Zufuhrkammer **14** des Fluids A' und von der Zufuhrkammer **15** des Fluids B' verlaufenden Kanäle **4**, **5** sind in ihrer Lage angedeutet. Beide Zufuhrkammern sind in ihrer Tiefe derart ausgelegt, daß aufgrund des vom Führungsbau teil **13** erzeugten Druckabfalls der Strahldruck der Zuleitung der Fluide A' bzw. B' über die ganze Eintrittsfläche **16** bzw. **17** homogenisiert wird. Die plattenartigen Elemente sind entsprechend der beiden Arten A und B alternierend zu einem Führungsbau teil übereinander geschichtet und druckdicht in die entsprechende Ausnehmung des Mikrovermischerbauteils eingepaßt. Nach oben sind die plattenartigen

Elemente mit einer hier nicht dargestellten Deckplatte abgedeckt, die die obersten Nuten abschließt und den Folienstapel druckdicht zusammenhält. Mit diesem Mikrovermischer ist es möglich, zwei Fluide A' und B' von getrennten Seiten **16**, **17** an das Führungsbau teil heranzuführen und durch übereinanderliegende Kanäle als Fluidfäden in die Mischkammer zu leiten. Dadurch, daß in die Mischkammer alternierend Lagen von Fluidfäden der Art A und der Art B einströmen, und pro Zeiteinheit aus jedem Kanal einer Art das gleiche Fluidvolumen austritt, ist eine gute Vermischung bzw. Dispergierung der Fluide gewährleistet.

[0022] Drei unterschiedliche plattenartige Elemente **20**, **21**, **22** der Arten A, B, C sind in **Fig. 4** dargestellt. Das oberste Element **20** und das unterste Element **21** entsprechen den in **Fig. 2** dargestellten Elementen **1** bzw. **2**. Das mittlere Element **22** der Art C weist eine Schar **3** geradliniger Nuten **25** mit gleichem Querschnitt auf, die durch Zwischenstege **6** gleicher Dicke gleich beabstandet sind.

[0023] Ein Mikrovermischer, in dessen Führungsbau teil die in **Fig. 4** dargestellten plattenartigen Elemente **20**, **21**, **22** integriert sind, ist in **Fig. 5** schematisch gezeigt. Der Verlauf der den Elementarten A, B und C zugehörigen Nuten **23**, **24** und **25** ist in **Fig. 5** angedeutet. Die aus Folien bestehenden plattenartigen Elemente können in der sich wiederholenden Reihenfolge A, B, C angeordnet sein. Eine Reihenfolge A, C, B, C kann vorteilhaft sein, wenn durch die Kanäle der Elementart C ein Fluid C' geleitet werden soll, das im Überschuß, beispielsweise als inertes Gas oder Flüssigkeit, die zu mischenden Fluide A' und B' verdünnen soll. An das Führungsbau teil **13** grenzen die Zufuhrkammern **30**, **31**, **32** für die Fluide A, B und C. Die Eintrittsfläche **28** des Fluids C' liegt parallel zu der Austrittsfläche **18**. Die beiden Eintrittsflächen **26**, **27** der Fluide A' und B' liegen sich parallel gegenüber und bilden mit der Eintrittsfläche **28** des Fluids C' einen Winkel von 90°. In dieser Darstellung haben die plattenartigen Elemente **20**, **21**, **22** einen quadratischen Grundriß. Die zu mischenden Fluide A', B' und C' gelangen als eine Vielzahl von Fluidfäden aus den Kanälen der Stirnfläche **18** in die Mischkammer **12**.

[0024] Ein weiteres Führungsbau teil für die getrennte Zufuhr von drei Fluiden A', B' und C' ist in **Fig. 6** schematisch dargestellt. Der Verlauf, der sich aus den Nuten **23**, **24**, **25** der hier nicht einzeln dargestellten plattenartigen Elemente **20**, **21**, **22** ergebenden Kanäle, ist angedeutet. Der Grundriß der übereinander geschichteten plattenartigen Elemente ist derart, daß die den Fluidarten A' und B' zugeordneten Eintrittsflächen **26** und **27** in Ebenen liegen, die zueinander einen Winkel  $\alpha = 90^\circ$  bilden und diese mit der Eintrittsfläche **28** des Fluids C' einen Winkel von  $\beta = 135^\circ$  bilden. Die Eintrittsfläche **28** liegt parallel zu der Austrittsfläche **18**, in der die Kanäle parallel ausgerichtet einmünden. Aufgrund der unterschiedlichen Abstände der Kanäle bzw. der unterschiedlichen Bemessung der Querschnitte der Kanäle und der Zwischenstege lassen sich unterschiedliche Verläufe der Kanäle in dem Führungsbau teil realisieren, ohne dass es an der Austrittsfläche **18** zur Mischkammer Gebiete unterschiedlich hoher Mischungseffektivität gibt.

[0025] Ein Mikrovermischer, der ein Führungsbau teil mit integriertem Wärmetauscher aufweist, ist in **Fig. 7** dargestellt. Das Führungsbau teil **13** weist neben den plattenartigen Elementen **1**, **2** der Arten A und B, wie sie in **Fig. 2** dargestellt sind, zusätzlich plattenartige Elemente **40** mit zu den Nuten **4**, **5** der Arten A und B quer verlaufenden Nuten **43** auf. Der Verlauf der Nuten **4**, **5**, **43** ist in **Fig. 7** angedeutet. Diese plattenartigen Elemente **40** sind zwischen den die Fluide A bzw. B führenden Elementen **1**, **2** angeordnet und können Kühl- bzw. Heizmittel führen. Der Mikrovermischer weist neben den Zufuhrkammern **14**, **15** für die Fluide A und

B eine zusätzliche Kammer **41** für die Zufuhr eines Kühl- bzw. Heizmittels und eine entsprechende Austrittskammer **42** auf. Mit diesem Mikrovermischer ist es möglich, die Fluide A und B vor ihrer Vereinigung in der Mischkammer **12** auf eine durch das Kühl- bzw. Heizmittel einstellbare Temperatur zu bringen. Damit eignet sich dieses Bauteil ideal in der Mikroreaktionstechnologie zur gezielten Einstellung der Temperatur von miteinander reagierenden Edukten A und B.

[0026] Ein erfindungsgemäßer Mikrovermischer der in **Fig. 3** gezeigten Bauart wies ein aus 14 plattenartigen Elementen bestehendes Führungsbau teil auf. Die Kantenlänge des im Grundriß quadratischen Führungsbau teils betrug 7,4 mm. Jedes plattenartige Element der Art A und B bestand aus einer 300 µm dicken Metallfolie, die in Viertel kreisbögen verlaufende Nuten einer Strukturhöhe von 100 µm aufwies. Die Mitten der Querschnittsflächen der Nuten wiesen gleiche Abstände auf. Die Querschnitte der Nuten wurden so bemessen, dass trotz unterschiedlicher Länge der Kanäle jeder Kanal zwischen der Eintrittsfläche und der Austrittsfläche einen gleichen Druckabfall aufweist, und damit pro Zeiteinheit aus jedem Kanal einer Elementart das gleiche Fluidvolumen austritt. Gemäß der Formel

$$\Delta p = (\mu \cdot k \cdot u \cdot l) / b^2,$$

in der  $\Delta p$  die Druckdifferenz zwischen Eintrittsfläche und Austrittsfläche,  $\mu$  die dynamische Viskosität des Fluids,  $k$  einen vom Verhältnis der Kanalweite zu Kanalhöhe abhängigen Korrekturfaktor,  $u$  die Strömungsgeschwindigkeit und  $l$  die Länge des Kanals bedeutet, wurde die jeweilige Kanal weite  $b$  ausgerechnet. So wurden für eine Druckdifferenz von 60 Pa, einer dynamischen Viskosität von  $2 \cdot 10^{-5}$  Pas, einem Korrekturfaktor von 14 bis 20, einer Strömungsgeschwindigkeit von bis zu 0,7 m/s und Längen von 2 mm bis 10 mm die Kanalweiten zu 150 µm bis 470 µm und die Wanddicken der Zwischenstege zu 430 µm bis 150 µm berechnet. Um eine Homogenisierung des Strahldrucks der einströmenden Fluide A' und B' zu erreichen, wiesen die Zufuhrkammern eine Tiefe von etwa 500 µm auf.

[0027] Die plattenartigen Elemente des Mikrovermischers bestanden aus Metallfolien, die nach dem folgenden Verfahren hergestellt wurden. Ein als ebenes Substrat dienender Titan-Wafer wurde mit einer gleichmäßig dicken Schicht aus Polymethylmethacrylat beschichtet. Die Schicht wurde mittels Mikrofräsen und Laserbestrahlung strukturiert. Anschließend wurde eine dünne Goldschicht als elektrischer Kontakt aufgebracht. Durch galvanische Abscheidung wurden die Mikrostrukturen mit Nickel aufgefüllt. Beide Seiten des so erhaltenen mikrostrukturierten Metallkörpers wurden poliert bzw. geläppt. Die Mikrostrukturen der strukturierten Seite wurden vor der Bearbeitung mit einem Kunststoff gefüllt, um eine Beschädigung der Strukturen zu vermeiden. Anschließend wurde der Kunststoff herausgelöst. Folienstücke, die die späteren plattenartigen Elemente darstellen, wurden aus dem Metallkörper mittels Drahterdieren ver einzelt. Als chemisch inerte Schicht wurde auf die Folie eine Goldschicht aufgebracht. Die so erhaltenen Folienstücke wurden in die für das Führungsbau teil vorgeschencne Ausnehmung des Mikrovermischers eingepaßt und von oben mit einer Deckplatte druckdicht verschlossen.

[0028] Weitere Verfahren zur Herstellung von mikrostrukturierten Folien zum Einsatz in den Mikrovermischer umfassen lithographische Verfahren, Prägeverfahren mit mikrostrukturierten Prägestempeln, die beispielsweise durch Funkenerosion unter Verwendung mikrostrukturierter Elektroden hergestellt werden, oder Mikrofräsen.

[0029] Plattenartige Elemente des Mikrovermischers aus

Kunststoff können durch direktes Strukturieren mittels Mikrofräsen und/oder Laserablation oder durch Abformung, beispielsweise Spritzguß, hergestellt werden.

[0030] Keramik als Material für die plattenartigen Elemente des Mikrovermischers kann beispielsweise dadurch strukturiert werden, dass polymere Precursoren abgeformt, anschließend unschmelzbar gemacht und pyrolysiert werden, wie dies in der EP 624 558 A1 beschrieben wird.

10

## Bezugszeichenliste

1 plattenartiges Element der Art A  
 2 plattenartiges Element der Art B  
 3 Schar von Nuten  
 15 4 Nut der Elementart A  
 5 Nut der Elementart B  
 6 Zwischensteg  
 7 Stirnfläche eines Elementes  
 8 Abdeckplatte  
 20 11 Statischer Mikrovermischer  
 12 Mischkammer  
 13 Führungsbau teil  
 14 Zufuhrkammer des Fluids A'  
 15 Zufuhrkammer des Fluids B'  
 25 16 Eintrittsfläche der Elementart A  
 17 Austrittsfläche der Elementart B  
 18 Austrittsfläche  
 20 plattenartiges Element der Art A  
 21 plattenartiges Element der Art B  
 30 22 plattenartiges Element der Art C  
 23 Nut der Elementart A  
 24 Nut der Elementart B  
 25 Nut der Elementart C  
 26 Eintrittsfläche der Elementart A  
 35 27 Eintrittsfläche der Elementart B  
 28 Eintrittsfläche der Elementart C  
 30 Zufuhrkammer des Fluids A'  
 31 Zufuhrkammer des Fluids B'  
 32 Zufuhrkammer des Fluids C'  
 40 40 plattenartiges Element mit quer verlaufenden Nuten  
 41 Zufuhrkammer für Heiz- bzw. Kühlmittel  
 42 Austrittskammer für Heiz- bzw. Kühlmittel  
 43 Nut der Zwischenfolie für Heiz- bzw. Kühlmittel

45

## Patentansprüche

1. Statischer Mikrovermischer (**11**) mit einer Mischkammer (**12**) und einem vorgeschalteten Führungsbau teil (**13**) für die getrennte Zufuhr von zu mischenden oder zu dispergierenden Fluiden zu der Mischkammer (**12**), wobei

- das Führungsbau teil (**13**) aus mehreren plattenartigen, übereinander geschichteten Elementen (**1, 2**) mindestens zweier Arten A und B zusammengesetzt ist, wobei die Elemente der Art A und die Elemente der Art B Kanäle aufweisen, die von einer Zufuhrkammer (**14**) eines Fluids A' bzw. von einer Zufuhrkammer (**15**) eines Fluids B' zu einer den plattenartigen Elementen (**1, 2**) gemeinsam, an die Mischkammer (**12**) grenzenden Stirnfläche (**7**) führen,
- die plattenartigen Elemente (**1, 2**) der Art A und B aus dünnen Folien mit einer Dicke bis zu einigen Millimetern und Längen und Breiten bis zu einigen Zentimetern bestehen, in die eine Schar (**3**) benachbarter Nuten (**4, 5**) mit mindestens einem bogenförmig gekrümmten Abschnitt eingear-

beitet sind so dass beim Übereinanderschichten der Folien je eine Schar (3) von Kanälen für die Führung der zu mischenden Fluide A' und B' entsteht,

**dadurch gekennzeichnet,**

dass die plattenartigen Elemente (1, 2) mindestens einer Art A bzw. B jeweils eine Schar (3) von Nuten (4, 5) unterschiedlicher Länge aufweisen, und dass die Wanddicken der Stege (6) zwischen den Nuten (4, 5) jedes plattenartigen Elementes (1, 2) der Art A bzw. B so bemessen sind, dass zumindest im Bereich der an die Mischkammer (12) grenzenden Stirnfläche (7) des plattenartigen Elementes (1, 2) die längeren Nuten (4, 5) einen kleineren Abstand zueinander aufweisen als die kürzeren Nuten (4, 5).

2. Statischer Mikrovermischer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Querschnitte der Nuten (4, 5) der Elementart A bzw. B gleich sind.

3. Statischer Mikrovermischer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß

jede Nut (4, 5) eines jeden Elementes der Art A bzw. B einen im wesentlichen gleichbleibenden Querschnitt aufweist, der so bemessen ist, daß aus jedem von diesen Nuten (4, 5) einer Elementart A oder B gebildeten Kanal pro Zeiteinheit im wesentlichen das gleiche Fluidvolumen in die Mischkammer (12) austritt, und daß die Wanddicken der Zwischenstege (6) zumindest im Bereich der an die Mischkammer (12) grenzenden Stirnfläche (7) so bemessen sind, daß die Mitten der Querschnittsflächen der Nuten jedes plattenartigen Elementes (1, 2) einer Art einen gleichen Abstand aufweisen.

4. Statischer Mikrovermischer nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß alle Scharen (3) von Nuten (4, 5) parallel zueinander ausgerichtet in die Mischkammer (12) und senkrecht zur der Austrittsfläche (18) münden, die durch die Öffnungen der in die Mischkammer (12) mündenden Kanäle aller plattenartigen Elemente (1, 2) gebildet wird.

5. Statischer Mikrovermischer nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die dünnen Folien eine Dicke von < 1 mm aufweisen, daß die Nuten (4, 5) Tiefen von < 500 µm und Breiten von < 1 mm aufweisen, und daß die Wanddicken der Zwischenstege (6) und der Nutböden < 1 mm betragen.

6. Statischer Mikrovermischer nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die dünnen Folien eine Dicke von < 500 µm aufweisen, daß die Nuten (4, 5) Tiefen von < 250 µm und Breiten von 10 bis 500 µm aufweisen, und daß die Wanddicken der Zwischenstege (6) und der Nutböden 50 bis 500 µm betragen.

7. Statischer Mikrovermischer nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Führungsbau teil (13) aus mehreren plattenartigen übereinandergeschichteten Elementen (1, 2) zweier Arten A und B zusammengesetzt ist, die eine Schar (3) von Nuten (4, 5) unterschiedlicher Länge mit mindestens einem bogenförmig gekrümmten Abschnitt aufweisen, und

daß die Austrittsfläche (18), die durch die Öffnungen der in die Mischkammer mündenden Kanäle aller plattenartigen Elemente (1, 2) der Arten A und B gebildet wird, und die den Elementarten A und B zugehörigen Eintrittsflächen (16, 17), die durch die Öffnungen der in die Zufuhrkammer (14, 15) des Fluids A' bzw. B' mündenden Kanäle der plattenartigen Elemente der Art A bzw. B gebildet werden, so auf unterschiedlichen

Seiten des Führungsbau teils angeordnet sind, daß die Ebenen, die durch die beiden Eintrittsflächen (16, 17) gebildet werden, zueinander in einem Winkel von 90° bis 0° bzw. parallel zueinander liegen.

8. Statischer Mikrovermischer nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Führungsbau teil (13) aus mehreren plattenartigen übereinandergeschichteten Elementen (20, 21, 22) dreier Arten A, B und C zusammengesetzt ist, wobei die Elementarten A und B jeweils eine Schar von Nuten (23, 24) unterschiedlicher Länge mit mindestens einem bogenförmig gekrümmten Abschnitt aufweisen und die Elementart C eine Schar von geradlinig verlaufenden und gleich beabstandeten Nuten (25) mit im wesentlichen gleichem Querschnitt aufweist, und daß die Austrittsfläche (18), die durch die Öffnungen der in die Mischkammer (12) mündenden Kanäle aller plattenartigen Elemente (20, 21, 22) der Arten A, B und C gebildet wird, und die den Elementarten A, B und C zugehörigen Eintrittsflächen (26, 27, 28), die durch die Öffnungen der in die Zufuhrkammer des Fluids A', B' bzw. C' mündenden Kanäle der plattenartigen Elemente der Art A, B bzw. C gebildet werden, so auf unterschiedlichen Seiten des Führungsbau teils angeordnet sind, daß die Ebenen, in der die beiden der Elementarten A und B zugehörigen Eintrittsflächen (26, 27) liegen, zueinander in einem Winkel von 90° bis 0° bzw. parallel zueinander liegen, wobei die Ebene, in der die der Elementart C zugehörigen Eintrittsfläche (28) liegt, mit den Ebenen der beiden übrigen Eintrittsflächen (26, 27) einen Winkel von 90° bis 135° bildet und sich die Ebene, in der die Austrittsfläche (18) liegt, im wesentlichen parallel zu der Ebene befindet, in der die der Elementart C zugehörigen Eintrittsfläche (28) liegt.

9. Statischer Mikrovermischer nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Führungsbau teil aus mehreren plattenartigen Elementen von vier oder mehr Arten zusammengesetzt ist und unterschiedliche, den Elementarten zugehörige und an die entsprechenden Zufuhrkammern angrenzende Eintrittsflächen und eine gemeinsame Austrittsfläche aufweist.

10. Statischer Mikrovermischer nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Führungsbau teil 4 bis 60 plattenartige, übereinandergeschichtete Elemente aufweist.

11. Statischer Mikrovermischer nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in das Führungsbau teil ein Wärmetauscher integriert ist.

12. Statischer Mikrovermischer nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils zwischen mindestens zwei Folien (1, 2) mindestens eine weitere Folie (40) angeordnet ist, die quer zu den Nuten der beiden angrenzenden Folien verlaufende Nuten zur Durchleitung eines Kühl- oder Heizmittels aufweist.

13. Statischer Mikrovermischer nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Führungsbau teil und der Mischkammer ein Wärmetauscher angeordnet ist.

14. Statischer Mikrovermischer nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Folien aus mindestens einem galvanisch abscheidbaren Metall, einem Polymer oder einem keramischen Material bestehen.

15. Statischer Mikrovermischer nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß auf den Folien eine dünne, gegen die eingesetzten Fluide che-

misch inerte Schicht aufgebracht ist.

16. Statischer Mikrovermischer nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die chemisch inerte Schicht aus mindestens einem Edelmetall, vorzugsweise Gold, besteht.

5

17. Statischer Mikrovermischer nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Mikrovermischer ein Bauteil mit Abdeckplatte umfaßt, das Ausnehmungen für die Zufuhrkammern, die Mischkammer und das Führungsbauteil aufweist, und daß die plattenartigen Elemente in die Ausnehmung für das Führungsbauteil eingepaßt sind und mittels der Abdeckplatte druckdicht abgeschlossen sind.

---

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

---

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

**- Leerseite -**

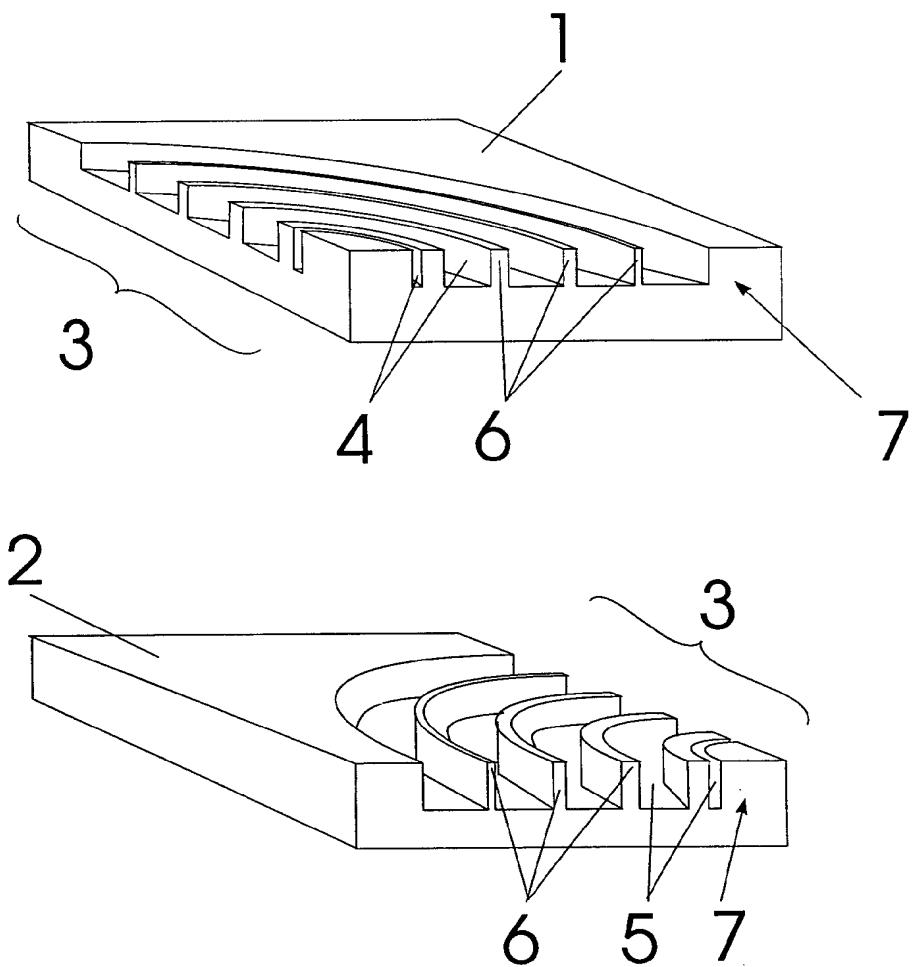


Fig.2

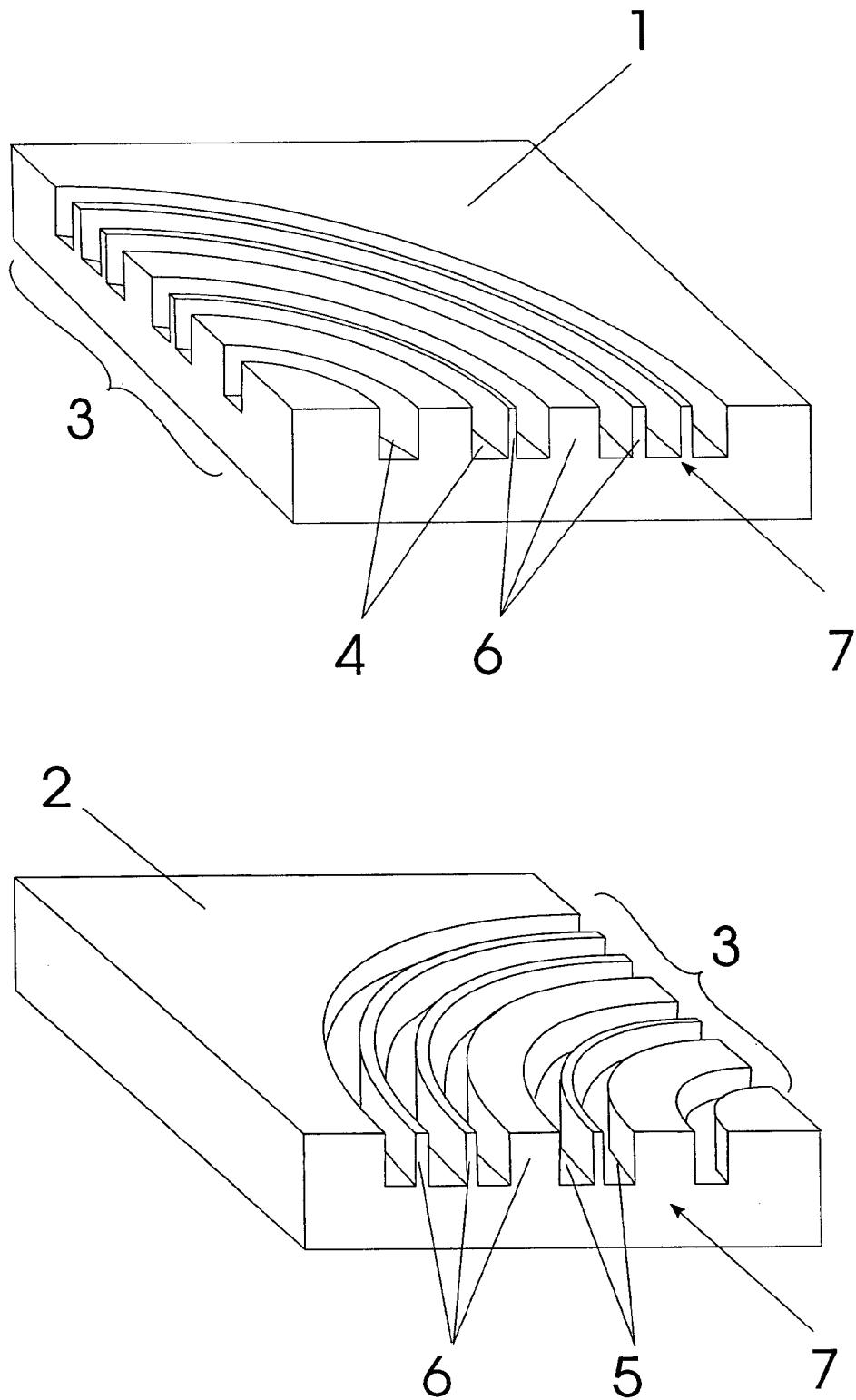


Fig.1

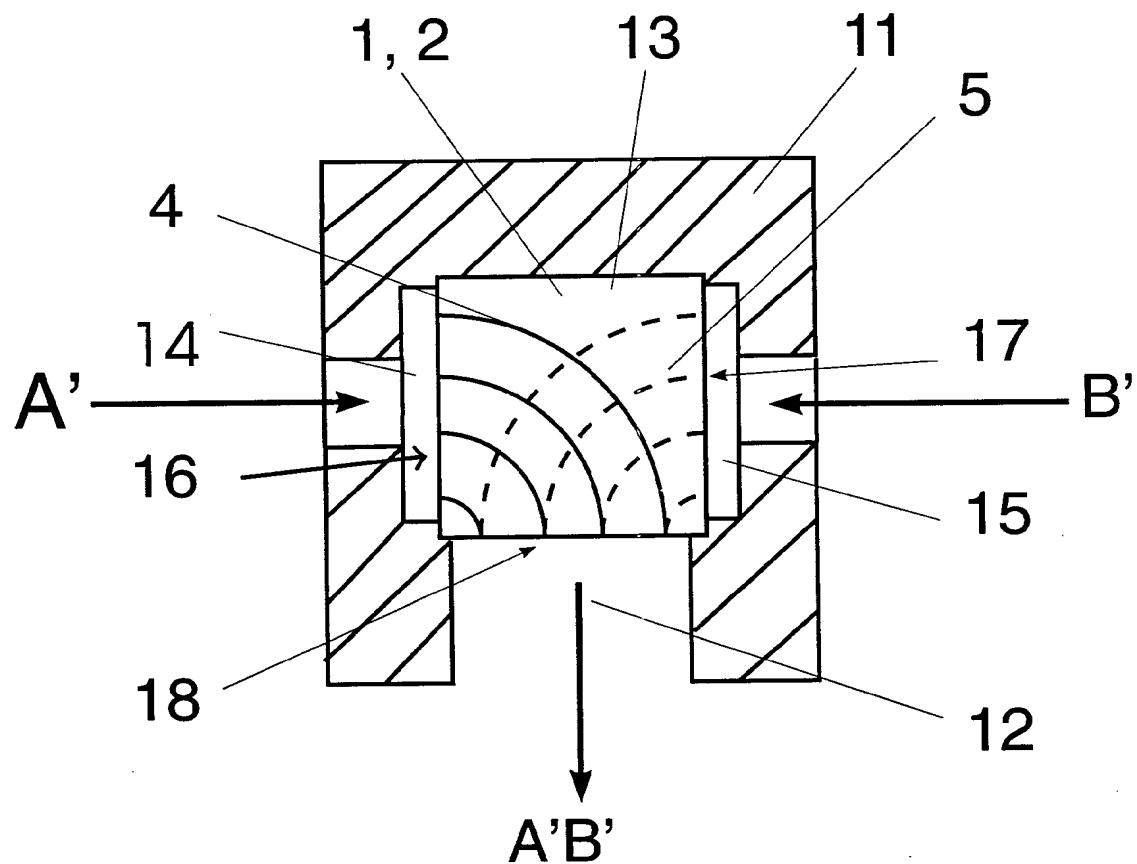


Fig.3

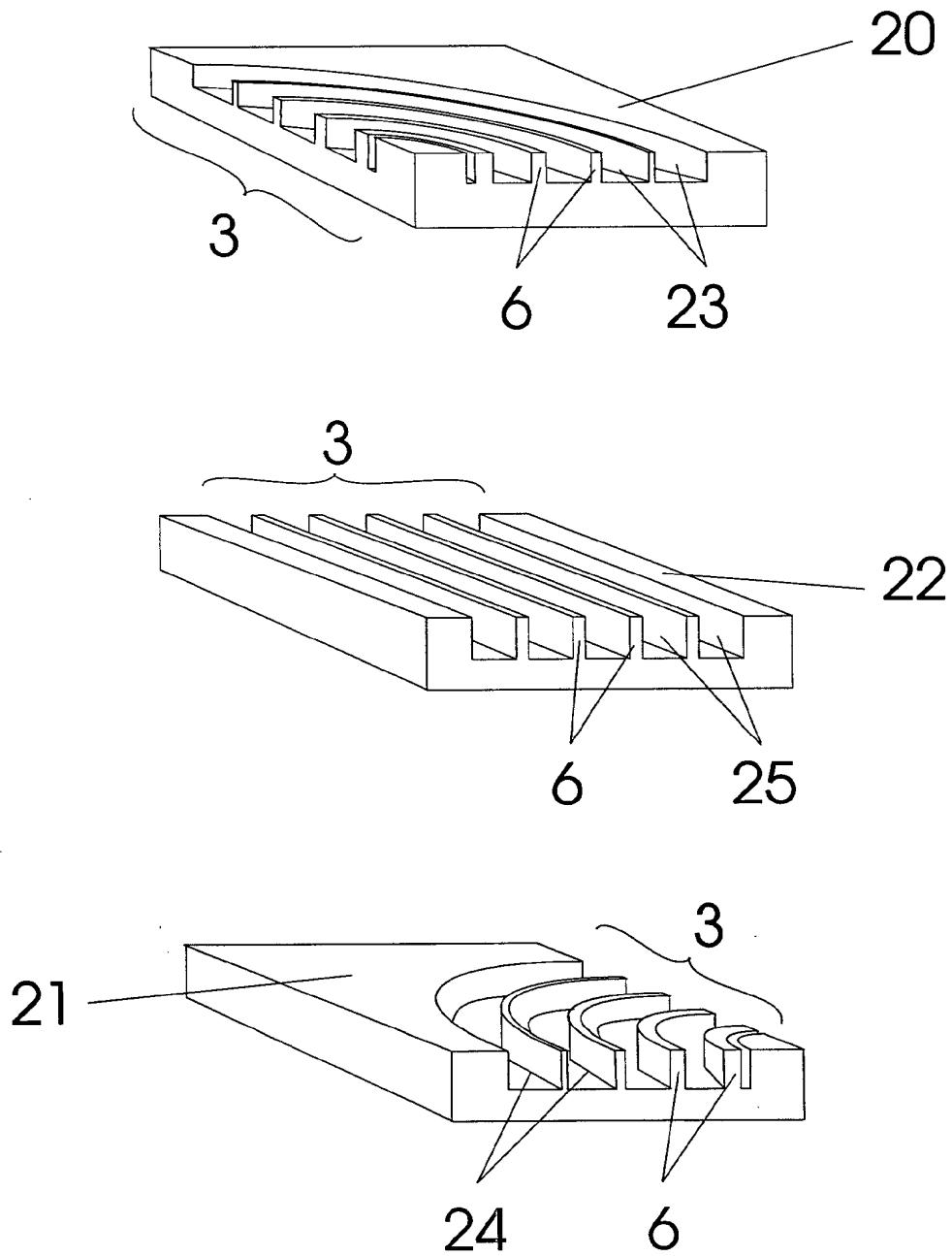


Fig.4

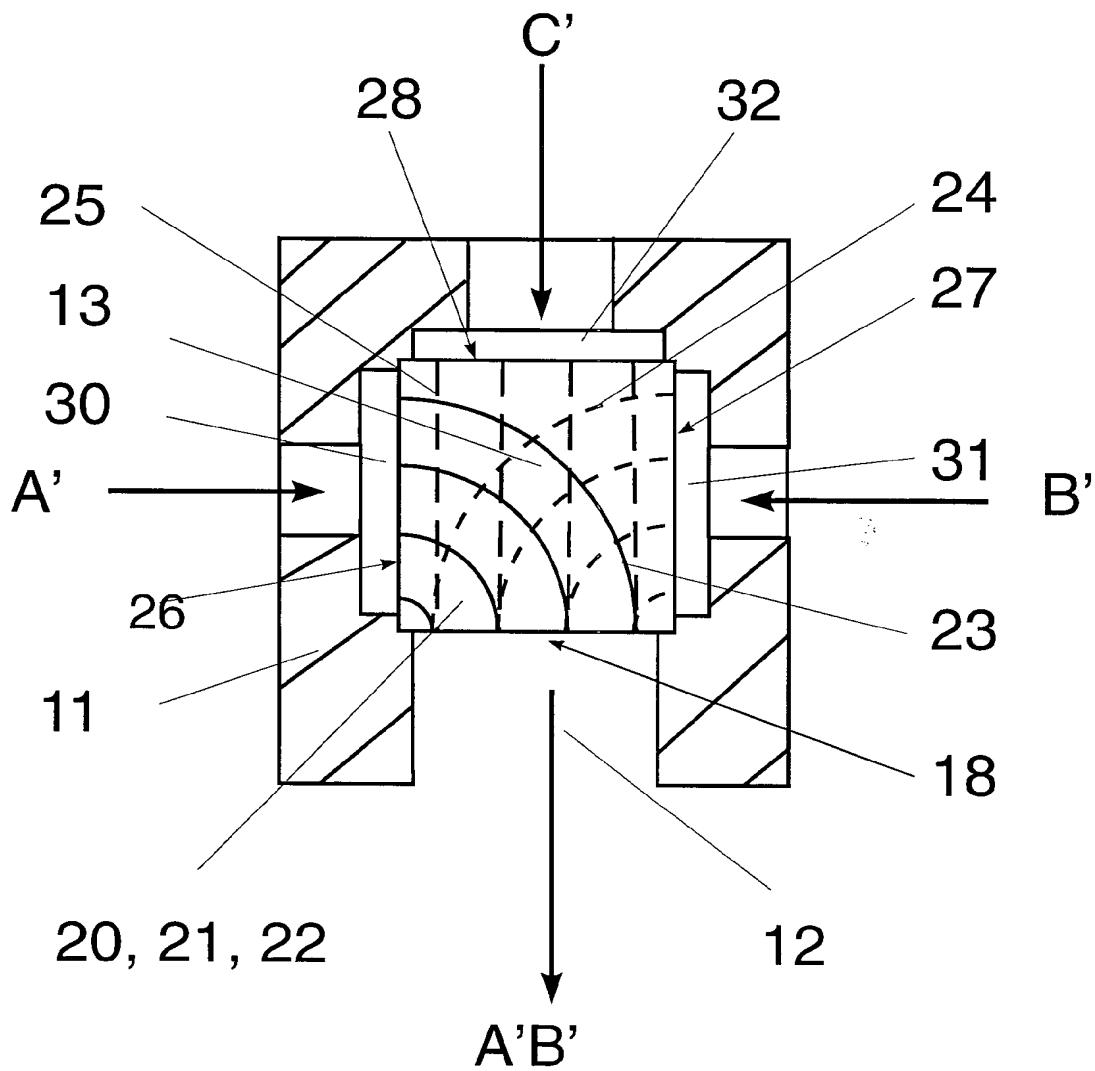


Fig.5

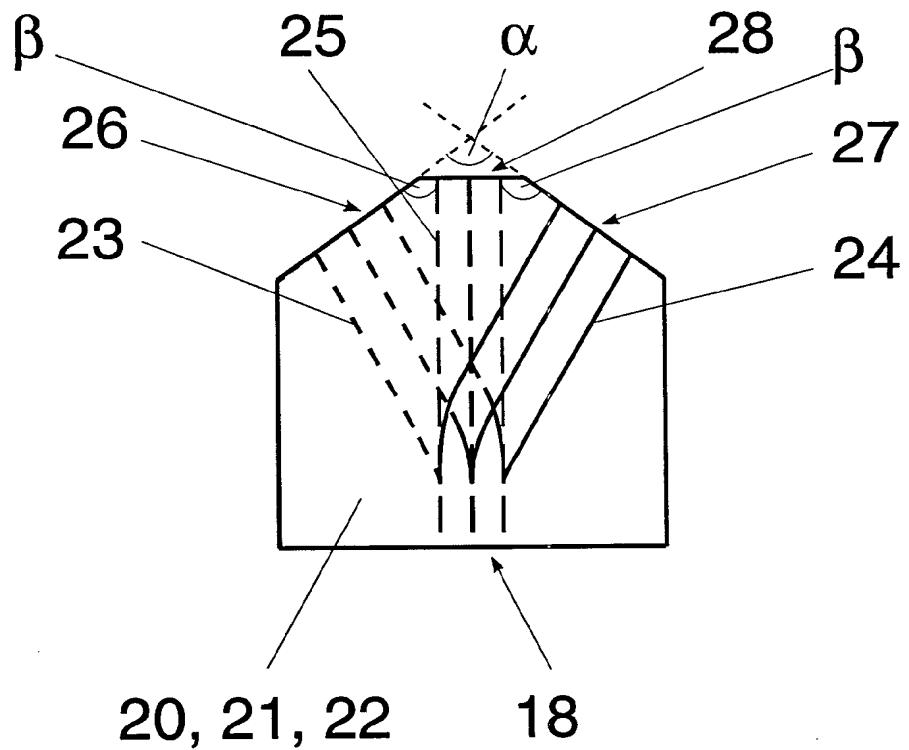


Fig.6

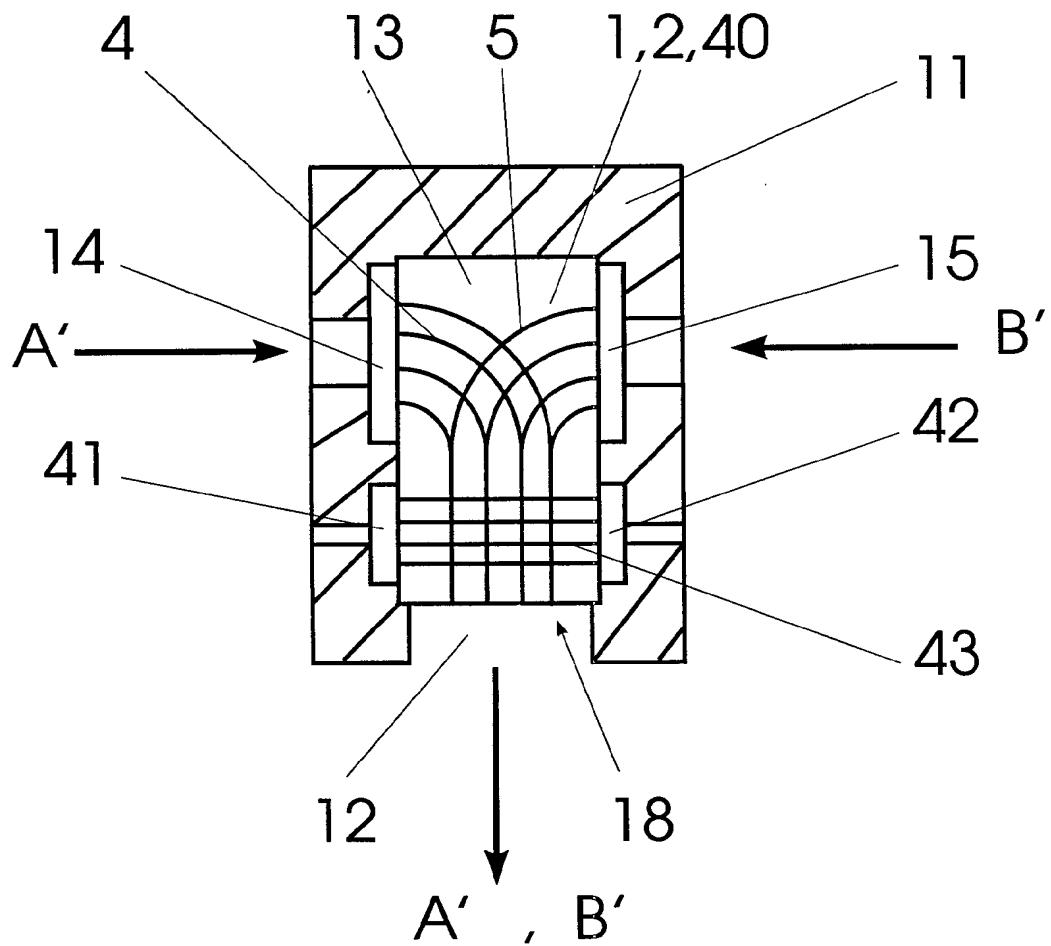


Fig. 7